

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Patent Application of Robert Weger

Serial No.: 10/720,485

Art Unit: Unassigned

Filed: November 25, 2003

Examiner: Unassigned

Title: COIL ARRANGEMENT WITH VARIABLE INDUCTANCE

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Mail Stop PATENT APPLICATION

Commissioner for Patents

P.O. Box 1450

Alexandria, Virginia 2313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119 and 37 C.F.R. 1.55(b), applicant hereby claims the benefit of priority of corresponding Germany Priority Document No. 102 60 246.8. Priority is claimed in the Declaration.

Attached is the German priority document for the subject application. Acknowledgement of receipt of this document is solicited.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Mark C. Comtois", written over a horizontal line.

Mark C. Comtois
Attorney for Applicant

Reg. No. 46,285

DUANE MORRIS LLP
1667 K Street, N.W., Suite 700
Washington, DC 20006
Telephone: (202) 776-7801
Telecopier: (202) 776-7801

Dated: January 22, 2004

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 60 246.8

Anmeldetag: 20. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Minebea Co., Ltd. a Japanes Corporation,
Tokyo/JP

Bezeichnung: Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität

IPC: H 01 F 21/08

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Schäfer

BOEHMERT & BOEHMERT

ANWALTSOZIOZETÄT

Boehmert & Boehmert • P.O.B. 15 03 08 • D-80043 München

Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstraße 12
80297 München

DR.-ING. KARL BOEHMERT, PA (1899-1973)
DIPLO.-ING. ALBERT BOEHMERT, PA (1902-1993)
WILHELM J. H. STAHLBERG, RA, Bremen
DR.-ING. WALTER HOCHMANN, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. HEINZ GODDARD, PA*, München
DR.-ING. ROLAND LIESEGANG, PA*, München
WOLF-DIETER KUNTZE, RA, Bremen, Alicante
DIPLO.-PHYS. ROBERT MÜNZHUBER, PA (1933-1992)
DR. LUDWIG KOUER, RA, Bremen
DR. (CHEM.) ANDREAS WINKLER, PA*, Bremen
MICHAELA HUTH-DIERIG, RA, München
DIPLO.-PHYS. DR. MARION TÖNHARDT, PA*, Düsseldorf
DR. ANDREAS EBERT-WEIDENFELDER, RA, Bremen
DR. AXEL NORDEMANN, RA, Berlin
DIPLO.-PHYS. DR. DOROTHEE WEBER-BRÜLS, PA*, Frankfurt
DIPLO.-PHYS. DR. STEFAN SCHÖPE, PA*, München
DR.-ING. MATTHIAS PHILIPP, PA*, Bielefeld
DR. MARTIN WERTZ, RA, Düsseldorf
DR. DETMAR SCHÄFER, RA, Bremen
DR. JAN BERND NORDEMANN, LL.M., RA, Berlin
DR. CHRISTIAN CZYCHOWSKI, RA, Berlin
DR. CARL-RICHARD HAARMANN, RA, München
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN W. APPELT, PA*, München

PA - Patentanwalt/Patent Attorney
RA - Rechtsanwalt/Attorney at Law
* - European Patent Attorney
o - Maître en Droit
o - Licencié en Droit
o - Diplôme d'Etudes Approfondies en Conception de Produits et Innovation
Alle zugelassen zur Vertretung vor dem Europäischen Markenamt, Alicante
Professional Representation at the Community Trademark Office, Alicante

PROF. DR. WILHELM NORDEMANN, RA, Potsdam
DIPLO.-PHYS. EDUARD BAUMANN, PA*, Hohenkirchen
DR.-ING. GERALD KLOPPSCH, PA*, Düsseldorf
DIPLO.-ING. HANS W. GROENING, PA*, München
DIPLO.-ING. SIEGFRIED SCHIRMER, PA*, Bielefeld
DIPLO.-PHYS. LORENZ HANSENWICKEL, PA*, Potsdam
DIPLO.-ING. ANTON FREIHERR RIEDERER V. PAAR, PA*, Landshut
DIPLO.-ING. DR. JAN TÖNNIES, PA, RA, Kiel
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN BIEHL, PA*, Kiel
DIPLO.-PHYS. DR.-ING. UWE MANASSE, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. THOMAS L. HITTKER, PA*, Berlin
DR. VOLKER SCHMITZ, M. Juris (Oxford), RA, München, Paris
DR. ANKE NORDEMANN-SCHIFFEL, RA*, Potsdam
DIPLO.-BIOL. DR. JAN B. KRAUSS, PA, Berlin
DR. KLAUS TIM BRÖCKER, RA, Berlin
DR. ANDREAS DUSTMANN, LL.M., RA, Potsdam
DIPLO.-ING. NILS T. F. SCHMIDT, PA*, München, Paris
DR. FLORIAN SCHWAB, LL.M., RA*, München
DIPLO.-BIOCHEM. DR. MARKUS ENGELHARD, PA, München
DIPLO.-CHEM. DR. KARL-HEINZ B. METTEN, PA*, Frankfurt
DIPLO.-ING. DR. STEFAN TARUTIS, PA, Düsseldorf
PASCAL DECKER, RA, Berlin
DIPLO.-CHEM. DR. VOLKER SCHOLZ, PA, Bremen

In Zusammenarbeit mit/in cooperation with
DIPLO.-CHEM. DR. HANS ULRICH MAY, PA*, München

Ihr Zeichen
Your ref.

Ihr Schreiben
Your letter of

Unser Zeichen
Our ref.

München,

Neuanmeldung

M30226(L)

20.12.2002

Minebea Co., Ltd. a Japanese Corporation
18 F Arco Tower
1-8-1 Shimo-Meguro
Meguro-ku
Tokyo 153 0064
Japan

Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität

10 Die Erfindung betrifft eine Spulenanordnung, deren Induktivität durch einen Steuerstrom veränderbar ist.

- 78.358 -

Pettenkoferstraße 20-22 • D-80336 München • P.O.B. 15 03 08 • D-80043 München • Telefon +49-89-559680 • Telefax +49-89-347010

MÜNCHEN • BREMEN • BERLIN • DÜSSELDORF • FRANKFURT • BIELEFELD • POTSDAM • KIEL • PADERBORN • LANDSHUT • HOHENKIRCHEN • ALICANTE • PARIS

<http://www.boehmert.de>

e-mail: postmaster@boehmert.de

Spulenanordnungen mit veränderbarer Induktivität werden in energietechnischen und nachrichtentechnischen Anwendungen eingesetzt. Eine solche Anwendung von Spulen mit veränderlicher Induktivität liegt im Bereich von Schaltnetzteilen, um die im Hochfrequenzbereich stattfindende Energieübertragung den schwankenden Lastanforderungen anzupassen.

- 5 Die früheste Art, die Induktivität einer Spule zu variieren, bestand darin, die Position eines Eisenkerns, oder Ferritkerns, in der Spule mechanisch zu verändern. Eine solche Veränderung der Induktivität der Spule wurde z.B. bei einem einmaligen Abgleich eines Schwingkreises vorgenommen. Sobald die variable Induktivität der Spule jedoch als Element eines Regelkreises eingesetzt wird, muß es möglich sein, die Induktivität der Spule möglichst schnell mittels
10 eines elektrischen Signals zu verändern. Für die Realisierung einer solchen elektrisch steuerbaren Induktivität kann der Effekt ausgenutzt werden, daß die relative magnetische Permeabilität von ferro- und ferrimagnetischen Werkstoffen mit der magnetischen Flußdichte im Material sinkt. Aufbauend auf diesem Wirkungsprinzip wurden in der Vergangenheit zahlreiche Spulenanordnungen vorgeschlagen, die mittels eines Stroms in einer Steuerspule eine
15 Vormagnetisierung eines magnetisch hoch permeablen Spulenkerns bewirken und so die Induktivität der Arbeitswicklung, die ebenfalls auf dem Spulenkern aufgebracht ist, steuern.

Eine der ersten Veröffentlichungen hierzu ist das U.S. Patent 2,229,952 von Whiteley und Ludbrook mit dem Titel „Magnetic Amplifier“ aus dem Jahre 1941. Die dort beschriebene
20 Spule weist einen EE Kern auf, der auf seinem Mittelschenkel eine Steuerwicklung und auf den Außenschenkeln die Arbeitswicklungen trägt. Die Steuerwicklung wird von einem Gleichstrom durchflossen und erzeugt dadurch einen magnetischen Fluß in dem EE Kern, der sich auf alle drei Schenkel verteilt. Das Kernmaterial wird dabei durch den durch die Steuerwicklung fließenden Strom vormagnetisiert. Mittels der Vormagnetisierung wird die effektive Permeabilität des Kernmaterials verändert und somit auch die Induktivität der Arbeitswick-
25 lungen.

Mit zunehmendem Steuerstrom und in der Folge sinkender Permeabilität verschlechtern sich die magnetischen Flußführungseigenschaften für den durch die äußeren Wicklungen erzeugten hochfrequenten Fluß in den äußeren Schenkeln, so daß gerade in Bereichen niedriger Induktivität starke elektromagnetische Störemissionen auftreten.

- 5 Ein Nachteil dieser aus dem Stand der Technik bekannten und ähnlicher Anordnungen liegt darin, daß die an den Arbeitswicklungen anliegende Wechselspannung in die Steuerspule transformiert wird, wodurch sich die elektrischen Eigenschaften der Anordnung verschlechtern. Hinzu kommt, daß die Steuerspule in vielen Anwendungen eine deutlich größere Windungszahl aufweist als die Arbeitsspulen, wodurch diese Problematik verschärft wird.
- 10 Dieser Nachteil wurde im Stand der Technik bereits erkannt, und es wurden Versuche unternommen, ihn zu beheben. In der britischen Patentanmeldung GB 2 195 850 A1 wird vorgeschlagen, einen Kondensator zu der Steuerwicklung parallel zu schalten. In dem U.S. Patent 6,317,021 wird vorgeschlagen, zur Vermeidung dieses Problems, eine Parallelschaltung der Arbeitswicklungen vorzusehen. Das erste Verfahren hat den Nachteil zusätzlicher Verluste
- 15 aufgrund eines Kurzschlußstroms in der Steuerwicklung. Bei der Lösung des U.S. Patentes 6,317,021 werden die Arbeitswicklungen so verschaltet, daß sich die durch diese Wicklungen erzeugten magnetischen Flüsse für die Steuerwicklung aufheben. Die Aufhebung der Flüsse (Flußanihilation) in der Steuerwicklung tritt jedoch nur dann auf, wenn der magnetische Leitwert in den Außenschenkeln und dem Mittelschenkel für beide Seiten des EE Kernes gleich
- 20 ist. Die herstellungsbedingt unvermeidbaren parasitären Luftspalte an den Stoßflächen der beiden EE-Kernhälften sind jedoch häufig Ursachen für Asymmetrien in dem magnetischen Leitwert. Gemäß dem U.S. Patent 6,317,021 wird durch geeignete Querschnittsverhältnisse der Schenkel des Kernes für Arbeitsspulen und Steuerspulen eingestellt, ob auch der Mittelschenkel in die Sättigung geht und damit eine Induktivitätsänderung auch der Steuerspule
- 25 bewirkt wird. Um zu vermeiden, daß bei steigendem Sättigungsstrom der mittlere Schenkel, welcher die Steuerspule trägt, schneller in die Sättigung geht als die äußeren Schenkel, schlägt

das U.S. Patent vor, daß der mittlere Schenkel eine Querschnittsfläche aufweist, die mindestens doppelt so groß ist wie die Querschnittsflächen der jeweils äußeren Schenkel.

Ein großer Nachteil aller Anordnungen auf der Basis von EE-Kernen besteht darin, daß bei hohen Aussteuerungen das Magnetfeld der Arbeitsspulen zu einem erheblichen Teil den dann
5 niedrig permeablen Kern verläßt und EMV-relevante Störfelder entstehen. Dies ist insbesondere bei Anwendungen mit hochfrequenten und sehr starken Strömen in den Arbeitswicklungen der Fall, beispielsweise wenn die steuerbare Induktivität als reaktiver Vorwiderstand zur Regelung der Leistung in Schaltnetzteilen eingesetzt wird.

Ein weiteres grundsätzliches Problem bei der Verwendung von EE Kernen entsteht durch die
10 unvermeidlichen parasitären Luftspalte an den Berührungsflächen der beiden Kernhälften. Diese verursachen unterschiedliche magnetische Leitwerte für die Feldlinienwege durch die beiden Arbeitsspulen und somit unterschiedliche Vormagnetisierungen. Daraus resultieren einerseits erhebliche Toleranzen für den einstellbaren Induktivitätsbereich der Spulenkonfiguration, andererseits treten Induktivitätsunterschiede zwischen den Wicklungen der Arbeitsspulen auf. Letzteres bedeutet, daß die Spulenkonfiguration positive und negative Halb-
15 wellen des Signals an den Arbeitsspulen unterschiedlich leitet.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, eine Spulenordnung mit veränderbarer Induktivität anzugeben, die einen großen Aussteuerbereich hat und geringe elektromagnetische Störfelder erzeugt, wobei auch die Verlustwärme der Spulenordnung niedrig gehalten werden soll.
20 Diese Eigenschaften sind insbesondere in Schaltnetzteilen mit hoher Leistungsdichte relevant.

Diese Aufgabe wird durch eine Spulenordnung mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst.

Die Erfindung sieht eine Spulenordnung mit veränderbarer Induktivität vor, die zwei getrennte Ringkernspulen aufweist, welche Arbeitswicklungen tragen, sowie eine Steuerwicklung, die zur Vormagnetisierung des Kernmaterials der Ringkernspulen die beiden bewickel-

ten Ringkernspulen umgreift. Erfindungsgemäß wird durch die Zylindersymmetrie der Ringkerne sowie eine vorzugsweise gleichmäßige Verteilung der Arbeitswicklungen über den Umfang der Ringkerne die Magnetfeldstärke außerhalb der Wicklungen erheblich reduziert, und zwar unabhängig von der Permeabilität des Kernes.

5 Im Stand der Technik treten nämlich die elektromagnetischen Störfelder steuerbarer Induktivitäten vor allem dann auf, wenn die magnetische Permeabilität des Kernmaterials aufgrund der Vormagnetisierung klein geworden ist, weil dann das Magnetfeld der Spule zunehmend außerhalb des Korns verläuft. Zusätzlich ist bei niedriger Permeabilität die Spulenimpedanz
gering und der Spulenstrom besonders groß. Durch Vorsehen von gleichmäßig bewickelten
10 Ringkernspulen können die Störfelder außerhalb des Korns jedoch weitgehend vermieden werden.

Da die erfindungsgemäße Anordnung keine parasitären Luftspalte im Feldlinienweg aufweist, treten die damit verbundenen Toleranzen- und Asymmetrieprobleme nicht auf. Zudem ermöglicht der wegen der nicht vorhandenen Luftspalte vergrößerte magnetische Leitwert eine
15 bessere Aussteuerung des Korns bzw. einen größeren erreichbaren Induktivitätsbereichs. Weiters ist der Herstellungsaufwand für zwei Toroide geringer als für zwei E-Kernhälften. Da die Arbeitswicklungen erfindungsgemäß den gesamten Kern und nicht nur den äußeren Teil der Schenkel umgeben, ergibt sich im Vergleich zu dem Stand der Technik ein vergrößerte
Wicklungsbreite. Dadurch kann mehr Kupfer pro Lage untergebracht werden, was geringere
20 Energieverluste in den Arbeitswicklungen bewirkt.

Insbesondere können durch die vorliegende Erfindung Ringkerne eingesetzt werden, deren Symmetrie und konstante Querschnittsfläche optimale magnetische Eigenschaften ermöglichen. Die unerwünschten Streufelder werden auf ein Minimum reduziert, und durch die Dreh-
symmetrie wird gewährleistet, daß jeder Bereich des Korns in gleichem Maße vormagnetisiert
25 ist. Die Kerne sind entlang ihrer Drehachse stapelbar, ohne ihre elektrischen Eigenschaften einzubüßen, und ermöglichen eine kompakte Bauform bei guten Kühlungseigenschaften.

Erfindungsgemäß wird die Spulenanordnung aus wenigstens zwei geschlossenen Ringkernspulen aufgebaut. Die Ringkernform wird gewählt, weil die magnetische Sättigung des Kernmaterials hier besonders vorteilhaft erreicht werden kann. Rotationssymmetrische Ringkerne sind den im Stand der Technik üblichen EE-Kernen hinsichtlich der EMV-relevanten Störfelder und der Ausnutzung des Wicklungsraums überlegen. Es können sämtliche handelsüblichen runde Ringkerne verwendet werden, wobei die Ringkerne vorzugsweise einen rechteckigen Grundquerschnitt haben.

Erfindungsgemäß umfaßt die Spulenanordnung vorzugsweise zwei Ringkernspulen, die entweder so angeordnet sind, daß ihre Symmetrieachsen zur Deckung kommen oder die in einer gemeinsamen Ebene nebeneinander liegend angeordnet sind.

Bei einer coaxialen Anordnung der Ringkernspulen, mit in Deckung gebrachten Symmetrieachsen, ist es auch möglich, ganzzahlige Vielfache von jeweils zwei Ringkernspulen entlang der gemeinsamen Symmetrieachse anzuordnen. Auch wenn die Ringkerne in einer Ebene angeordnet sind, ist die Spulenanordnung nicht auf zwei Ringkerne beschränkt. Es ist möglich, eine dritte Ringkernspule in derselben Ebene, benachbart zu den ersten beiden Ringkernspulen anzuordnen, wobei die drei Spulen dann über drei Steuerwicklungen gekoppelt wären, welche jeweils zwei der Ringkernspulen umgreifen. Da sich hierdurch die elektrischen Eigenschaften bezüglich der Leistungsdichte und des Wirkungsgrad verschlechtern können, ist es jedoch günstiger, eine geradzahlige Anzahl von Ringkernspulen miteinander zu koppeln.

Bei der Ausführungsform mit coaxial übereinander angeordneten Ringkernspulen werden die Windungen der Steuerwicklung vorzugsweise gleichmäßig über den Umfang beider Ringkernspulen verteilt. Hierdurch ergibt sich eine besonders gute, gleichmäßige Vormagnetisierung des Kernmaterials.

Jede der Ringkernspulen ist mit ihrer Arbeitswicklung vorzugsweise einlagig bewickelt. Dadurch können die Kupferverluste durch den Hochfrequenzstrom gering gehalten werden.

Jede Arbeitswicklung kann aus einem einzelnen isolierten Draht, einer Gruppe parallel geschalteter unverdrillter isolierter Einzeldrähte oder aus einer Litze aus verdrehten isolierten Einzeldrähten gebildet werden. Bei Verwendung von Einzeldrähten wird der Drahtdurchmesser vorzugsweise auf maximal die dreifache Skineffekt-Eindringtiefe beschränkt. Für minimale Energieverluste, d.h. Kupferverluste, sollte der effektive Kupferquerschnitt der Wicklungen möglichst groß sein. Im Hinblick auf die Energieverluste sollte daher ein möglichst dicker Draht gewählt werden. Bei Anwendung von Wechselstrom wird jedoch aufgrund des Skineffekts der Bereich des Wicklungsdrahtes, der erheblich weiter als eine Skineffekt-Eindringtiefe vom Drahttrand entfernt ist, weitgehend unwirksam. Ein Wicklungsdraht, der dicker als die dreifache Skineffekt-Eindringtiefe ist, wäre daher aus Gründen der Energieeffizienz und Materialausnutzung ungünstig.

Die Skineffekt-Eindringtiefe δ wird für Kupferdraht bei realistischen Arbeitstemperaturen näherungsweise wie folgt berechnet:

$$\delta[mm] \approx \frac{2,2}{\sqrt{f[kHz]}}$$

Erfindungsgemäß ist jede Arbeitswicklung möglichst gleichmäßig über den Umfang der entsprechenden Ringkernspule verteilt. Wie erwähnt ist die Wicklung vorzugsweise einlagig. Um die Verlustwärme zu minimieren, sollte die Wickelbreite des Ringkerns, die dem inneren Ringkernumfang entspricht, möglichst vollständig ausgenutzt werden. Sofern die Arbeitswicklung eine Windungsanzahl aufweist, welche nicht die gesamte Wickelbreite des Ringkerns abdecken würde, ist es zweckmäßig, die Arbeitswicklung in Teilwicklungen aufzuteilen und diese parallel zu schalten. Hierdurch kann auch sichergestellt werden, daß der Stromfluß gleichmäßig über den Kern verteilt wird, um so externe magnetische Störfelder zu unterdrücken.

Anstelle eines Einzeldrahtes oder paralleler Einzeldrahte kann die Arbeitswicklung auch durch eine verdrehte Hochfrequenzlitze realisiert werden. Bei Hochfrequenzlitzen sollte der Durchmesser der Einzeldrähte der Litze kleiner sein als die einfache Skineffekt-Eindringtiefe.

Die Arbeitswicklungen der beiden Ringkernspulen können parallel oder in Reihe geschaltet werden. In jedem Fall sollte die Verschaltung der Arbeitswicklung so gewählt werden, daß dann, wenn die Arbeitswicklungen stromdurchflossen sind, die von ihnen erzeugten Magnetfeldrichtungen in der Steuerspule einander entgegengesetzt sind, so daß durch die Arbeitswicklungen keine Ströme in der Steuerwicklung induziert werden. Eine Wechselwirkung zwischen Arbeitswicklungen und Steuerwicklungen ist dadurch ausgeschlossen.

Eventuelle von den Arbeitswicklungen stammende in der Steuerwicklung induzierte Ströme können Störungen in der Steuerwicklung erzeugen und bei energietechnischen Anwendungen zudem eine unerwünscht hohe zusätzliche Erwärmung in der Steuerwicklung hervorrufen. Gleichzeitig wird durch eine solche Wechselwirkung Energie von den Arbeitswicklungen auf die Steuerwicklung übertragen, wodurch die Güte der Spulenanordnung verringert wird. Bestehen keine Wechselwirkungen zwischen Steuerwicklung und Arbeitswicklung, so treten bei Flußänderungen durch die Steuerwicklung keine Störungen in den Arbeitswicklungen auf.

Auch Kombinationen von Reihen- und Parallelschaltungen können vorgesehen werden.

Vorteilhafterweise werden die Kerne aus gleichem Material gefertigt, so daß alle Kerne auf einen entsprechenden Vormagnetisierungsgrad mit der gleichen effektiven Permeabilität reagieren.

Die Erfindung ist im folgenden anhand bevorzugter Ausführungsformen mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert. In den Figuren zeigen:

Fig. 1 eine schematischen Darstellung des Aufbaus einer Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität gemäß dem Stand der Technik;

Fig. 2A, 2B, 2C eine Draufsicht, eine Seitenansicht und eine schematische perspektivische Darstellung einer Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 eine Draufsicht auf eine Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 4 und 5 eine schematische Darstellung der Verschaltung der Wicklungen der erfindungsgemäßen Spulenanordnung in Parallelschaltung bzw. in Reihenschaltung; und

Fig. 6 eine schematische Darstellung der Verschaltung einer Arbeitswicklung einer Ringkernspule, die in mehrere Teilwicklungen aufgeteilt ist.

Figur 1 zeigt eine Spulenanordnung mit veränderlicher Induktivität gemäß dem Stand der Technik bestehend aus einem EE-Kern 10 mit einem mittleren 12 und zwei äußeren Schenkeln 14, 16. Die beiden äußeren Schenkel tragen jeweils eine Arbeitswicklung 20, 22, die parallel zueinander geschaltet sind. Der mittlere Schenkel 12 weist einen größeren Querschnitt als die äußeren Schenkel 14, 16 auf und trägt eine Steuerwicklung 24. Durch die Steuerwicklung 24 fließt ein Steuerstrom 30, der im wesentlichen keinen Wechselstromanteil hat. Dieser erzeugt einen Steuerfluß 32, der sich entsprechend der magnetischen Kopplung gleichmäßig auf die beiden äußeren Schenkel 14, 16 verteilt 32a, b und dort die von dem Steuerstrom 30 abhängige Vormagnetisierung erzeugt. Die beiden in den äußeren Schenkel erzeugten Flüsse 34a, b ergeben durch den antisymmetrischen Wicklungssinn der äußeren Arbeitswicklungen 20, 22 in dem mittleren Schenkel 12 entgegengesetzte Flüsse 34a, b, deren Beträge gleich sind, so daß sie sich dort aufheben. Dadurch gibt es keine Wechselwirkung zwischen den äußeren Arbeitswicklungen 20, 22 und der Steuerwicklung 24. Durch die von der Steuerwicklung 24 erzeugte Vormagnetisierung in den äußeren Arbeitswicklungen 20, 22 haben diese eine von dem Steuerstrom 30, abhängige veränderliche Induktivität I_{var} .

Fig. 2A und 2B zeigen eine Draufsicht bzw. eine Seitenansicht einer Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Die Spulenanordnung umfaßt zwei Ringkerne 40, 42 mit gleichen Abmessungen, die coaxial nebeneinander angeordnet sind, so daß ihre Symmetrieachsen, die in Fig. 2A schematisch durch ein Kreuz 44 angedeutet sind, zur Deckung kommen. Die Ringkerne 40, 42 haben vorzugsweise einen rechteckigen Basisquerschnitt, wie besser in Fig. 2C erkennbar ist. Die Ringkerne bestehen aus einem ferro- oder ferrimagnetischen Material. Jeder Ringkern 40, 42 trägt eine Arbeitswicklung 46 bzw. 48, von denen in Fig. 2A nur eine, 46, sichtbar ist. Eine Steuerwicklung 50 ist um die beiden bewickelten Ringkernspulen 40, 46 und 42, 48 gewickelt. Vorzugsweise sind die Arbeitswicklungen 46, 48 einlagig auf ihre zugehörigen Ringkerne 40, 42 gewickelt, wobei die Wickelbreite so weit wie möglich ausgenutzt werden soll. Ebenso ist die Steuerwicklung 50 gleichmäßig um den Umfang beider Ringkerne 40, 42 verteilt, um eine optimale Führung des Vormagnetisierungsfeldes und eine homogene Aussteuerung der Kerne zu erreichen. Dadurch ergibt sich ein maximaler steuerbarer Induktivitätsbereich. Zusätzlich werden Störfelder, welche von schnellen Änderungen der Steuersignale der Steuerspule 50 erzeugt werden können, nach außen hin unterdrückt.

Je nach Anwendung können die Arbeitswicklungen 46, 48 elektrisch parallel oder in Reihe geschaltet werden. Der Wicklungssinn der Arbeitswicklungen 40, 42 sollte jedoch so gewählt werden, daß sich für die Magnetfelder B_x und B_y , welche von den stromdurchflossenen Wicklungen 46, 48 erzeugt werden, gegensinnige Magnetfeldrichtungen in der für beide Ringkerne gemeinsamen Steuerspule 50 ergeben. Die Magnetfeldrichtungen sind in Fig. 2B für die Arbeitswicklung 46 mit B_x , für die Arbeitswicklung 48 mit B_y und für die Steuerwicklung 50 mit B_c bezeichnet. Durch eine geeignete Verschaltung der Arbeitswicklungen 46, 48 kann so eine Rückwirkung der durch die Arbeitswicklungen erzeugten Magnetfelder auf die Steuerwicklung 50 minimiert oder sogar vermieden werden. Durch die gemeinsame Steuerwicklung 50 wird ein Steuer-Gleichstrom geschickt, der die magnetische Permeabilität der Ringkerne 40, 42 und dadurch die Induktivität der Arbeitswicklungen 46, 48 verändern und insbesondere reduzieren kann. Die Arbeitswicklungen 46, 48 werden in der Praxis mit einem hochfrequenten Wechselstrom betrieben werden.

In der Darstellung der Fig. 2B sind die beiden Ringkernspulen 40, 46 und 42, 48 mit gemeinsamen Rotationsachsen, jedoch beabstandet zueinander angeordnet, um die Bewicklung der Spulen besser darstellen zu können. In der Praxis können die beiden Spulen jedoch auch nahe benachbart nebeneinander angeordnet werden. Während die Arbeitswicklungen 46, 48 möglichst einlagig, gleichmäßig und dicht auf die Kerne 40 bzw. 42 gewickelt sein sollen, sind die Anforderungen an die Wicklung der Steuerspule 50 weniger streng. Diese sollte zwar auch verteilt um den Umfang beider Spulenkerne 40, 42 gewickelt werden, die Verteilung muß jedoch nicht gleichmäßig sein. Auch ist es nicht entscheidend, ob die Wicklung ein- oder mehrlagig erfolgt.

10 Die gleichmäßig bewickelte Spulengeometrie ist inhärent selbstschirmend und verhindert, daß magnetische Streufelder aus den Kernen 40, 42 austreten. Dadurch werden EMV-relevante Streufelder verhindert. Auch wird im Vergleich zu den Anordnungen des Standes der Technik eine gleichmäßigere Magnetisierung erreicht.

Fig. 2C dient lediglich der Erläuterung der Ausführungsformen der Fig. 2A und 2B, wobei die Arbeitswicklungen 46, 48 und die Steuerwicklung 50 nur schematisch dargestellt sind, um zu veranschaulichen, wie die Ringkerne 40, 42 und die Wicklungen 46, 48, 50 relativ zueinander angeordnet sind. In der Praxis werden die Arbeitswicklungen 46 und 48 sowie die Steuerwicklung 50, wie oben erläutert, vorzugsweise um den Umfang der Ringkerne 40, 42 verteilt angeordnet.

20 Fig. 3 zeigt schematisch eine weitere Ausführungsform der Spulenanordnung gemäß der Erfindung in Draufsicht. In der Ausführungsform der Fig. 3 umfaßt die Spulenanordnung einen ersten Ringkern 52 sowie einen zweiten Ringkern 54, die jeweils eine Arbeitswicklung 56 bzw. 58 tragen. Die Arbeitswicklungen 56, 58 sollten über den Umfang der Ringkerne 52 bzw. 54 gleichmäßig verteilt gewickelt sein. Vorzugsweise sind sie jedoch einlagig, gleichmäßig um den gesamten Umfang der Ringkerne 52, 54 gewickelt, wie in den Fig. 2A und 2B für die erste Ausführungsform dargestellt. Die beiden Ringspulen 52, 56 und 54, 58 sind in

einer Ebene nebeneinander liegend angeordnet, wobei eine Steuerwicklung 60 nur über einem schmalen Teil des Umfangs der beiden Ringkerne 52, 54, wo diese einander berühren, gewickelt ist. Der Vorteil der Anordnung der Fig. 3 besteht im wesentlichen in der besonders flachen Bauform und der großen Oberfläche, die vorteilhaft für die Kühlung der Spulenordnung ist.

In den Fig. 2B und 2C, in Fig. 3 sowie in den Fig. 4 und 5 sind die Arbeitswicklungen auch mit X und Y bezeichnet, und die Steuerwicklung ist mit C bezeichnet. Die Enden der Arbeitswicklungen X und Y können parallel geschaltet werden, wie in Fig. 4 gezeigt, oder in Reihe geschaltet werden, wie in Fig. 5 gezeigt. Die Fig. 4 und 5 zeigen auch die Wechselwirkung zwischen den Arbeitsspulen X, Y und der Steuerspule C. Durch geeignete Verschaltung der Arbeitsspulen X und Y sowie Wahl ihres Wicklungssinns wird sichergestellt, daß die durch die Arbeitsspulen erzeugten Magnetfelder B_x und B_y so gerichtet sind, daß sie sich in der gemeinsamen Steuerspule C aufheben, um keine Rückwirkung des durch die Arbeitswicklungen erzeugten Magnetfeldes auf die Steuerwicklung zu erzeugen.

Wie oben erläutert, sollten die Arbeitswicklungen 46, 48; 56, 58 auf den Ringkernen 40, 42 bzw. 52, 54 um deren Umfang verteilt einlagig ausgeführt werden, um die Kupferverluste durch den Hochfrequenzstrom, der durch die Arbeitswicklung geht, möglichst gering zu halten. Der Drahtdurchmesser wird auf maximal die dreifache Skineffekt-Eindringtiefe beschränkt.

Um Verlustwärme zu minimieren, sollte ferner die Wickelbreite möglichst vollständig ausgenutzt werden. Mit anderen Worten soll der Wickelraum, d.h. der Innenumfang der Ringkernspulen möglichst vollständig mit Kupfer gefüllt sein, um einen maximalen Wirkungsgrad zu erhalten. Sofern die Arbeitswicklungen 46, 48; 56, 58 nicht eine ausreichend hohe Windungszahl haben, ist es zweckmäßig, diese in Teilwicklungen aufzuteilen, welche parallel geschaltet werden. Fig. 6 zeigt die Aufteilung einer Arbeitswicklung 62 in vier Teilwicklungen 63, 64, 65, 66, welche parallel geschaltet sind.

Für eine vorgegebene Windungszahl N (z.B. $N = 4$) wird die Anzahl der erforderlichen, parallel geschalteten Teilwicklungen dadurch ermittelt, daß zunächst eine reelle Zahl m aus dem inneren Toroidumfang U_i und der Skineffekt-Eindringtiefe δ ermittelt wird, wobei m dann zur nächsten ganzen Zahl M aufgerundet wird. Da der Drahtdurchmesser auf die dreifache Skineffekt-Eindringtiefe begrenzt werden sollte, wie oben erörtert, wird ein Faktor 3 eingeführt, um diese dreifache Skineffekt-Eindringtiefe zu berücksichtigen. Ferner wird ein Faktor 0,9 eingeführt, welcher der Tatsache Rechnung trägt, daß bei einer praktischen Realisierung einer bewickelten Ringkernspule nicht die Gesamtwickelbreite zu 100% zur Verfügung steht. Somit ergibt sich für die reelle Zahl m folgende Formel:

$$m = \frac{0.9 \cdot U_i}{3 \cdot \delta \cdot N}$$

Abhängig von der Windungszahl N der jeweiligen Arbeitswicklung werden somit vorzugsweise M Teilwicklungen auf jedem Ringkern vorgesehen und wie in Fig. 6 gezeigt parallel geschaltet.

Der korrespondierende Drahtdurchmesser d , der vorzugsweise zu verwenden ist, ergibt sich hieraus wie folgt:

$$d = \frac{0.9 \cdot U_i}{N \cdot M}$$

Anstelle eines Einzeldrahtes oder mehrerer paralleler Einzeldrähte können für die Arbeitswicklungen auch verdrehte Hochfrequenzlitzen verwendet werden, wobei dann der Durchmesser der Einzeldrähte entsprechend angepaßt werden muß und vorzugsweise kleiner als die einfache Skineffekt-Eindringtiefe ist.

Die in der vorstehenden Beschreiben, den Figuren und den Ansprüchen offenbarten Merkmale können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausgestaltungen von Bedeutung sein.

M30226(L)
Minebea Co., Ltd.

Bezugszeichenliste

10	Kern
12	mittlerer Schenkel
14, 16	äußere Schenkel
20, 22	Spulenwicklungen
24	Steuerwicklung
30	Steuerstrom
32	Steuerfluß
34a,b	Flüsse
40, 42, 46, 48	Arbeitswicklungen
50	Steuerwicklung
52, 54	Ringkern
56, 58	Arbeitswicklungen
60	Steuerwicklung
62	Arbeitswicklung
63, 64, 65, 66	Teilwicklungen

BOEHMERT & BOEHMERT

ANWALTSOZIOZETAT

Boehmert & Boehmert • P.O.B. 15 03 08 • D-80043 München

Deutsches Patent- und Markenamt
Zweibrückenstraße 12
80297 München

DR.-ING. KARL BOEHMERT, PA (1899-1975)
DIPLO.-ING. ALBERT BOEHMERT, PA (1902-1993)
WILHELM J. H. STAHLBERG, RA, Bremen
DR.-ING. WALTER BOORMANN, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. HEINZ GODDAR, PA*, München
DR.-ING. ROLAND LIESSEGANG, PA*, München
WOLF-DIETER KUNTZE, RA, Bremen, Alcala
DIPLO.-PHYS. ROBERT MÜNZHUBER, PA (1923-1992)
DR. LUDWIG KOUKER, RA, Bremen
DR. (CHEM.) ANDREAS WINKLER, PA*, Bremen
MICHAELA HUTH-DIERIG, RA, München
DIPLO.-PHYS. DR. MARION TONHARDT, PA*, Düsseldorf
DR. ANDREAS EBERT-WEIDENFELDER, RA, Bremen
DIPLO.-ING. EVA LIESSEGANG, PA*, München
DR. AXEL NORDEMANN, RA, Berlin
DIPLO.-PHYS. DR. DOROTHEE WEBER-BRULS, PA*, Frankfurt
DIPLO.-PHYS. DR. STEFAN SCHOHE, PA*, München
DR.-ING. MATTHIAS PHILIPP, PA*, Bielefeld
DR. MARTIN WITZ, RA, Düsseldorf
DR. DETMAR SCHÄFER, RA, Bremen
DR. JAN BERND NORDEMANN, LL.M., RA, Berlin
DR. CHRISTIAN CZYCHOWSKI, RA, Berlin
DR. CARL-RICHARD HAARMANN, RA, München
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN W. APPELT, PA*, München

PA - Patentanwalt/Patent Attorney
RA - Rechtsanwalt/Attorney at Law
* - European Patent Attorney
o - Maître en Droit
o - Licencié en Droit
o - Diplôme d'Etudes Approfondies en Conception de Produits et Innovation
Alle zugelassen zur Vertretung vor dem Europäischen Markenamt, Alicante
Professional Representation at the Community Trademark Office, Alicante

PROF. DR. WILHELM NORDEMANN, RA, Potsdam
DIPLO.-PHYS. EDUARD BAUMANN, PA*, Hohenkirchen
DR.-ING. GERALD KLOPSCHE, PA*, Düsseldorf
DIPLO.-ING. HANS W. GROENING, PA*, München
DIPLO.-ING. SIEGFRIED SCHIRMER, PA*, Bielefeld
DIPLO.-PHYS. LORENZ HANSEWINKEL, PA*, Potsdam
DIPLO.-ING. ANTON FREIHERR RIEDERER V. PAAR, PA*, Landshut
DIPLO.-ING. DR. JAN TONNIES, PA, RA, Kiel
DIPLO.-PHYS. CHRISTIAN BIEHL, PA*, Kiel
DIPLO.-PHYS. DR.-ING. UWE MANASSE, PA*, Bremen
DIPLO.-PHYS. DR. THOMAS L. BITTNER, PA*, Berlin
DR. VOLKER SCHMITZ, M. Juris (Oxford), RA, München, Paris
DR. ANKE NORDEMANN-SCHIFFEL, RA*, Potsdam
DIPLO.-BIOL. DR. JAN B. KRAUSS, PA, Berlin
DR. KLAUS TIM BRÖCKER, RA, Berlin
DR. ANDREAS DUSTMANN, LL.M., RA, Potsdam
DIPLO.-ING. NILS T. F. SCHMID, PA*, München, Paris
DR. FLORIAN SCHWAB, LL.M., RA*, München
DIPLO.-BIOCHEM. DR. MARKUS ENGELHARD, PA, München
DIPLO.-CHEM. DR. KARL-HEINZ B. METTEN, PA*, Frankfurt
DIPLO.-ING. DR. STEFAN TARUTTE, PA, Düsseldorf
PASCAL DECKER, RA, Berlin
DIPLO.-CHEM. DR. VOLKER SCHOLZ, PA, Bremen
In Zusammenarbeit mit/in cooperation with
DIPLO.-CHEM. DR. HANS ULRICH MAY, PA*, München

Ihr Zeichen
Your ref.

Ihr Schreiben
Your letter of

Unser Zeichen
Our ref.

München,

Neuanmeldung

M30226(L)

20.12.2002

Minebea Co., Ltd. a Japanese Corporation
18 F Arco Tower
1-8-1 Shimo-Meguro
Meguro-ku
Tokyo 153 0064
Japan

Spulenordnung mit veränderbarer Induktivität

Patentansprüche

1. Spulenordnung mit veränderbarer Induktivität, mit zwei getrennten Ringkernspulen (40, 42; 52; 54), die Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58) tragen, und einer Steuerwicklung (50), die zur Vormagnetisierung des Kernmaterials der Ringkernspulen (40, 42; 52, 54) die beiden bewickelten Ringkernspulen umgreift.

- 78.358 -

Pettenkoferstraße 20-22 • D-80336 München • P.O.B. 15 03 08 • D-80043 München • Telefon +49-89-559680 • Telefax +49-89-347010

MÜNCHEN - BREMEN - BERLIN - DÜSSELDORF - FRANKFURT - BIELEFELD - POTSDAM - KIEL - PADERBORN - LANDSHUT - HOHENKIRCHEN - ALICANTE - PARIS

http://www.boehmert.de

e-mail: postmaster@boehmert.de

2. Spulenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Ringkernspulen (40, 42) derart nebeneinander angeordnet sind, daß ihre Symmetrieachsen (44) zur Deckung kommen.

5 3. Spulenanordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Windungen der Steuerwicklung (50) gleichmäßig über den Umfang beider Ringkernspulen (40, 42) verteilt sind.

10 4. Spulenanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Ringkernspulen (52, 54) in einer gemeinsamen Ebene nebeneinander liegend angeordnet sind.

15 5. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede der Ringkernspulen (40, 42; 52, 54) mit der Arbeitswicklung (46, 48; 56, 58) einlagig bewickelt ist.

20 6. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Arbeitswicklung (46, 48; 56, 58; 62) von einem einzelnen isolierten Draht, einer Gruppe parallel geschalteter unverdrillter isolierter Einzeldrähte oder von einer Litze aus verdrillten isolierten Einzeldrähten gebildet wird.

25 7. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß jede Arbeitswicklung (46, 48; 56, 58; 62) gleichmäßig über den Umfang der entsprechenden Ringkernspule verteilt ist.

30 8. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Ringkerne (40, 42; 52, 54) identische Abmessungen und die beiden Arbeitsspulen (46, 48; 56, 58) im wesentlichen identische Windungszahlen und identische Drahtstärken aufweisen.

9. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58; 62) aus einem Einzeldraht oder parallel geschalteten unverdrillten Einzeldrähten besteht, wobei der Einzeldrahtdurchmesser nicht größer als die dreifache Skineffekt-Eindringtiefe der Arbeitsfrequenz ist.

10. Spulenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58; 62) aus einer verdrillten Litze bestehen, deren Einzeldrahtdurchmesser nicht größer als die einfache Skineffekt-Eindringtiefe der Arbeitsfrequenz ist.

11. Spulenanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58) parallel geschaltet sind und der Windungssinn der Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58; 62) jeweils so gewählt ist, daß bei Stromfluss in den Arbeitswicklungen deren Magnetfeldrichtungen in der Steuerspule (50) einander entgegengesetzt sind.

12. Spulenanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58) in Reihe geschaltet sind und der Windungssinn der Arbeitswicklungen (46, 48; 56, 58; 62) jeweils so gewählt ist, daß bei Stromfluss in den Arbeitswicklungen deren Magnetfeldrichtungen in der Steuerspule (50) einander entgegengesetzt sind.

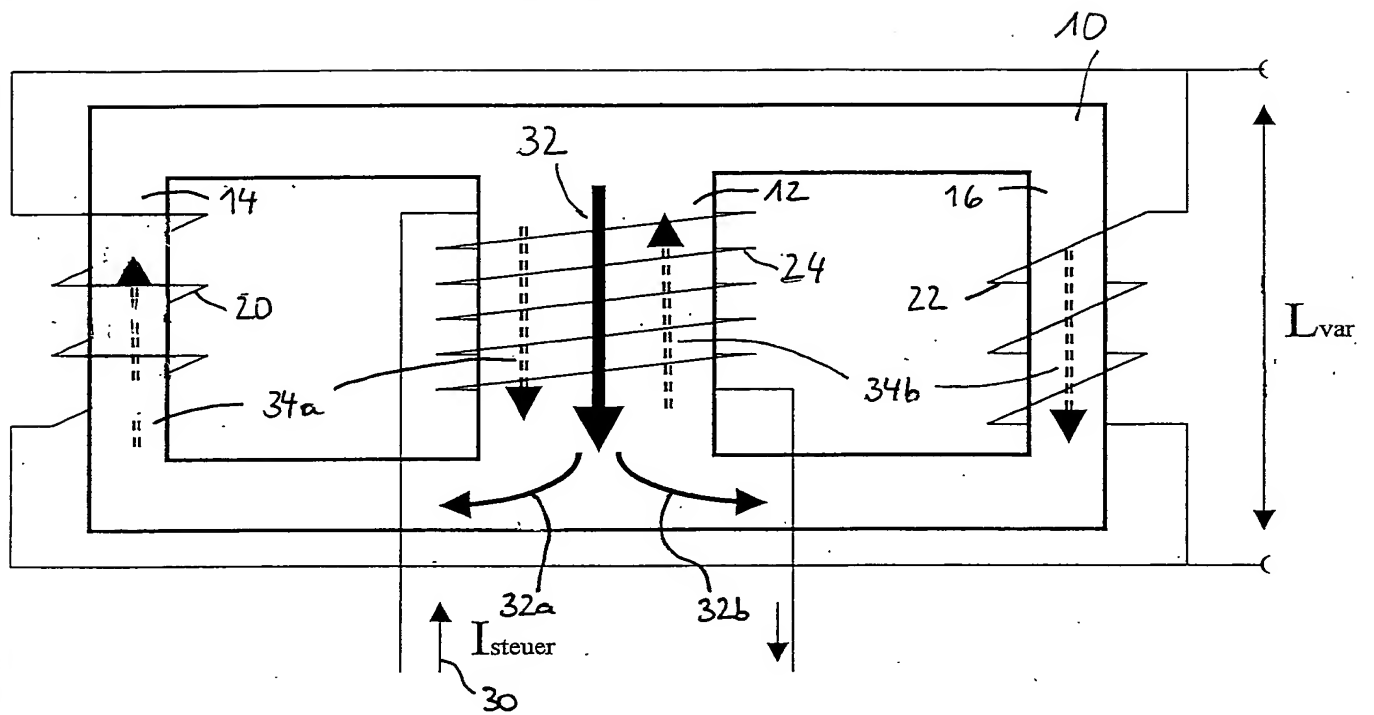
M30226(L)
Minebea Co., Ltd., a Japanese Corporation

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Spulenanordnung mit veränderbarer Induktivität, mit zwei getrennten Ringkernspulen, die Arbeitswicklungen tragen, und einer Steuerwicklung, die zur Vormagnetisierung des Kernmaterials der Ringkernspulen die beiden bewickelten Ringkernspulen umgreift.

Fig. 1

Stand der Technik



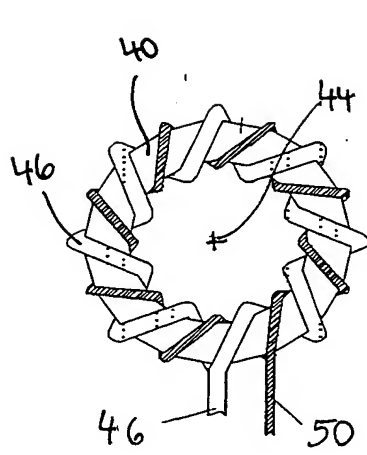


Fig 2a

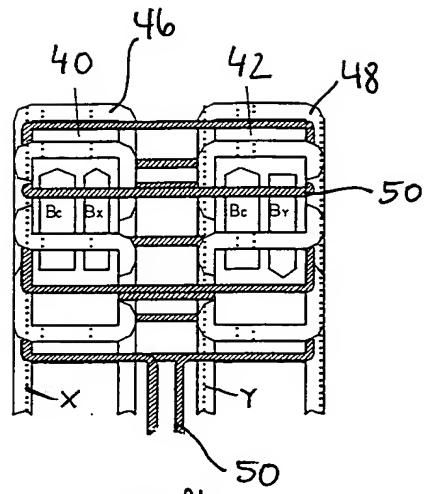


Fig. 2b

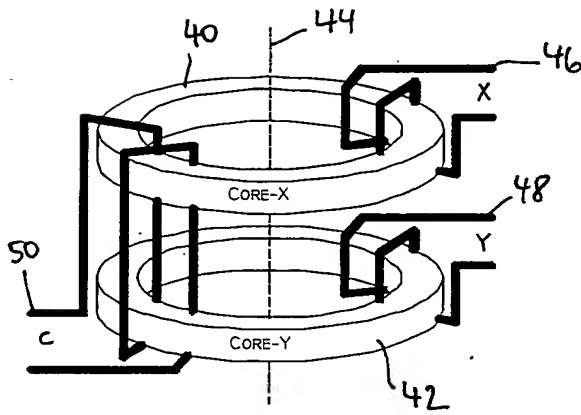


FIG. 2c

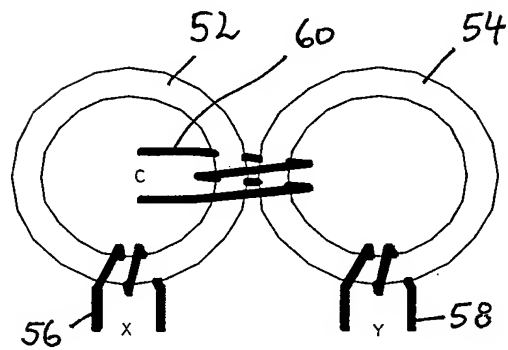


FIG. 3:

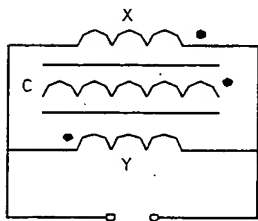


FIG. 4

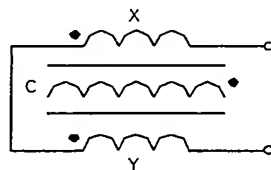


FIG. 5

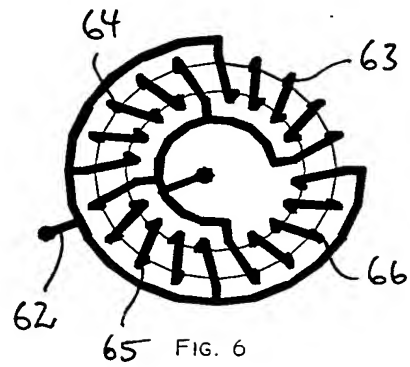


FIG. 6